

*Осадчук Вікторія, Кушніль Тетяна,
студентки IV курсу, напрям підготовки «Фізика»
Науковий керівник – Рудніцький В. Л.,
старший викладач кафедри фізики*

МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ COMSOL MULTIPHYSICS ТА MATHCAD

Дана тема є досить актуальною у наш час, оскільки процес наукового пізнання поступово все більше пов'язується з інформаційно-комп'ютерними технологіями, які значно полегшують розв'язання багатьох фізичних досліджень. Дослідження електричних і магнітних полів є непростю справою без засобів програмного забезпечення через нагромадження математичних обчислень. Застосування програмного забезпечення надзвичайно прискорює процес обробки даних, дає можливість візуалізації конкретного явища. Ми використовували ComsolMultiphysics таMathCad для реалізації цієї ідеї, одним із завдань яких є моделювання фізичних явищ шляхом зображення графічної залежності.

COMSOLMultiphysics – це потужне інтерактивне середовище моделювання та розрахунків більшості наукових та інженерних задач заснованих на диференціальних рівняннях в частинних похідних (PDE) методом кінцевих елементів. З цим програмним пакетом можливо розширювати стандартні моделі, які використовують одне диференціальне рівняння в мультифізичні моделі для розрахунку пов'язаних між собою фізичних явищ. Розрахунок не вимагає глибокого знання математичної фізики і методу кінцевих елементів. Це можливо завдяки вбудованим фізичним режимам, де коефіцієнти PDE задаються у вигляді зрозумілих фізичних властивостей та умов, таких як: теплопровідність, теплоємність, коефіцієнт тепловіддачі, об'ємна потужність і т.д. в залежності від обраного фізичного розділу. Перетворення цих параметрів у коефіцієнти математичних рівнянь відбувається автоматично. Взаємодія з програмою можлива стандартним способом - через графічний інтерфейс користувача (GUI).

Для вирішення PDE, COMSOL Multiphysics використовує метод кінцевих елементів (FEM). Така кількість фізичних законів виражаються у формі PDE, стає можливим моделювати широкий спектр наукових і інженерних явищ з багатьох областей фізики таких як: акустика, хімічні реакції, дифузія, електромагнетизм, оптика, квантова механіка, напівпровідникові пристрої та багато інших.

Крім перерахованого вище, програма дозволяє за допомогою змінних зв'язку (coupling variables) з'єднувати моделі різної геометрії пов'язувати між собою моделі різних розмірностей [2].

Ми розглянемо приклад задачі моделювання вихрових струмів в провідному циліндрі оточеному витком круглого перерізу, що живиться від джерела змінного струму. Приклад демонструє використання декількох підходів до вирішення завдання з урахуванням або без урахування скін-ефекту в матеріалі витка. Показано вплив частоти джерела струму на розподіл вихрових струмів в об'єкті.

Завдання вирішується в симетричній постановці щодо векторного магнітного потенціалу. Модельовані процеси – гармонійні в квазістатичному наближенні. Вектори магнітного потенціалу та електричного струму перпендикулярні площині моделі. Провідний циліндр (радіально-осьовий переріз) представлений у вигляді прямокутника, а виток зі струмом у вигляді кола. Площина, що моделюється – площина rz ; горизонтальна вісь моделі є радіальною віссю r системи, вертикальна вісь моделі збігається з віссю симетрії системи z . Повна тривимірна модель може бути отримана поворотом симетричної моделі навколо осі z на 360 градусів.

Ми отримали візуалізацію результатів, яку представлено на рис. 1, 2.

Якщо ви вчений, інженер або студент технічного вузу, то вам, безсумнівно, доводиться стикатися з різними завданнями, пов'язаними з обробкою експериментальних даних. І, напевно, ви не будете сперечатися з тим, що розрахунок регресії або, тим паче, Фур'є перетворення – це досить непросте завдання, навіть при вирішенні її в одній з систем програмування (що вже казати про проведення підрахунку на папері).

Якщо у вас є досвід обробки даних такими традиційними шляхами, то ви будете приємно здивовані і вражені, наскільки простіше і швидше (і найчастіше – якісніше) можна виконати цю роботу в Mathcad. Уся справа в тому, що серед вбудованих функцій програми вельми помітну частину займають функції, що реалізують основні з поширених в науці і техніці алгоритмів.

І для того, щоб, наприклад, побудувати криву регресії для деякої вибірки, вам зовсім не потрібно пам'ятати складні і громіздкі методи, на зразок методу найбільшого правдоподібності або алгоритму найменших квадратів. Вам достатньо просто ввести в маркер графічної області $\text{expfit}(x, y, t)$ – і система, прорахувавши найбільш вдалі параметри наближення, побудує максимально коректну для ваших даних криву. Переважна більшість типів обробки даних реалізуються в Mathcad настільки ж просто.

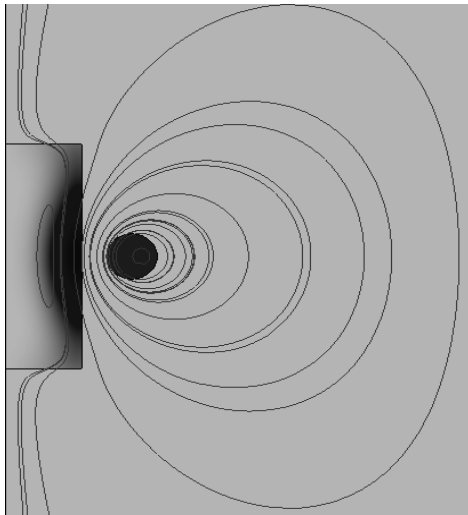


Рис. 1. Силові лінії поля, розподіл щільності струму наведеного в циліндрі і рівномірної щільності струму в джерелі (без урахування скін-ефекту). Такий режим відповідає багатовитковій котушці

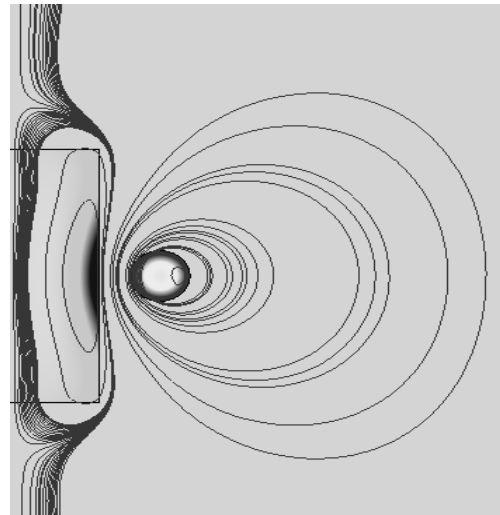


Рис. 2. Силові лінії поля, розподіл щільності струму наведеного в циліндрі і розподіл щільності струму в джерелі (з урахуванням скін-ефекту). Такий режим відповідає витку з однорідного матеріалу

Залежно від специфіки вирішуваних завдань, всі вбудовані функції обробки даних можна розділити на кілька великих груп.

1. Функції інтерполяції. З'єднують точки експериментальних даних кривими різного ступеня гладкості. Крім того, існує і багатовимірні інтерполяції (Практично важливим є наближення деякої поверхнею).

2. Функції регресії. Вирішують завдання визначення виду залежності за експериментальними даними з урахуванням похибки.

3. Функції кореляції.

4. Функції фільтрації. Призначені для наближення експериментальної залежності наявності деякої шумовий компоненти.

5. Функції інтегральних перетворень (Фур'є і хвильового). Відіграють величезну роль в радіотехніці [1].

Задача. Два точкових електричних заряди q_1, q_2 мають координати (X_1, Y_1) і (X_2, Y_2) . Обрахуйте розподіл електричного поля, побудуйте екіпотенціальні лінії і поверхню $\phi = \phi(x, y)$.

Потенціал електричного поля, створюваного зарядами q_i з координатами (X_i, Y_i) , $i = 1, 2, \dots$ в точці (x, y) дорівнює:

$$\phi(x, y) = \sum_{i=1}^n \frac{k q_i}{((X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2)^{0.5}}$$

$$i := 1, 2, \quad i_{\max} := 1..100 \quad j := 1..100$$

$$q_1 := 1 \text{ C}$$

$$q_2 := 5$$

$$x_1 := 0.01 i \quad y_1 := 0.01 j$$

$$\phi_{i,j} := \frac{q_1}{\sqrt{(0.3 - x_1)^2 + (0.3 - y_1)^2 + 0.001}} + \frac{q_2}{\sqrt{(0.7 - x_1)^2 + (0.6 - y_1)^2 + 0.001}}$$

Ми бачимо, що пакети Comsol Multiphysics та MathCad на даних прикладах переконують нас у виборі даних програм для розв'язування фізичних задач та проведенні наукових досліджень.

Рис. 3. Еквіпотенціальні лінії і поверхня $\varphi = \varphi(x, y)$

Проведені приклади не вичерпують усіх аспектів дослідження і використання моделювання та обробки даних. Перспектива подальших досліджень полягає у вивченні зв'язку моделювання та обробки даних з навчальним процесом.

Література

1. Майер Р.В. Решение физических задач с помощью макета MathCad [електронний ресурс] / Р.В. Майер. – Глазов: ГГПИ, 2006. – С. 25.
2. Огородников А.С. Моделирование в среде MATLAB – COMSOL 3.5a: учеб.пособ. / А.С. Огородников. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2012. – Ч. 1. – С. 3–9.

